

Partial English Translation of Japanese Patent Application  
Laid-open No. Hei 6-196745

(57) [Abstract]

[Object]

To provide an infrared detector using an  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}/\text{InAs}$  ( $x > 0.3$ ) superlattice composed of a III-V group compound semiconductor in which electrodes are mounted on an end surface of the  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}/\text{InAs}$  ( $x > 0.3$ ) superlattice, and a bias current is caused to flow in parallel with the surface of the superlattice, whereby a wavelength of detected infrared can be controlled by changing an Al composition without changing a superlattice structure; a high-speed response can be achieved because of high mobility of an InAs conduction band; and the infrared detector has a large light receiving area and a high sensitivity.

[Structure]

An  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}/\text{InAs}$  ( $x > 0.3$ ) superlattice is epitaxially grown on an insulating substrate to form a mesa structure, and a pair of electrodes are mounted on a side surface of the mesa structure so as to apply a bias current in parallel with a surface of the superlattice.

# BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-196745

(43)公開日 平成6年(1994)7月15日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 1 L 31/10

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

8422-4M

H 0 1 L 31/ 10

A

審査請求 有 請求項の数 2(全 4 頁)

(21)出願番号

特願平4-344609

(22)出願日

平成4年(1992)12月24日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 及川 隆一

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

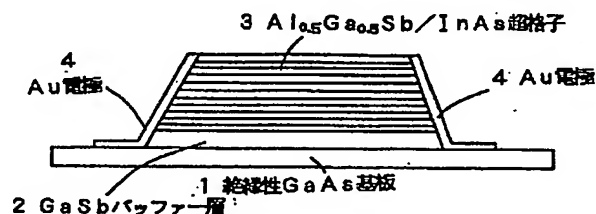
(74)代理人 弁理士 菅野 中

(54)【発明の名称】 赤外線検出器

(57)【要約】

【目的】 III-V族化合物半導体からなる $Al_xGa_{1-x}Sb/InAs$  ( $x>0.3$ ) 超格子を用い、 $Al_xGa_{1-x}Sb/InAs$  ( $x>0.3$ ) 超格子端面に電極を取り付け、超格子面と平行にバイアス電流を流すことによって、超格子構造を変化させなくとも $Al$ 組成を変化させて検出赤外線波長を制御することができ、かつ $InAs$ 伝導帯の高い移動度により高速応答が可能で、かつ受光面積が大きく感度の高い赤外線検出器を提供する。

【構成】 絶縁性基板にエピタキシャル成長させた $Al_xGa_{1-x}Sb/InAs$  ( $x>0.3$ ) 超格子のメサ構造と、超格子面と平行にバイアス電流を印加できるように前記メサ構造の側面に取り付けられた一対の電極とを有している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 メサ構造と、一对の電極とを有する赤外線検出器であって、

メサ構造は、絶縁性基板にエピタキシャル成長させた $Al_xGa_{1-x}Sb/InAs$  ( $x>0.3$ ) 超格子のメサ構造であり、

一对の電極は、前記メサ構造の側面に取付けられ、メサ構造の超格子面方向にバイアス電流を印加するものであることを特徴とする赤外線検出器。

【請求項2】 タイプII超格子である $InAs/Al_xGa_{1-x}Sb$ 超格子の $Al_xGa_{1-x}Sb$ 価電子帯サブバンドから $InAs$ 伝導帯サブバンドへの空間間接遷移により赤外線の検出を行うことを特徴とする請求項1に記載の赤外線検出器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、赤外線検出器に関する。

【0002】

【従来の技術】赤外イメージセンサ材料としては、従来から $HgTe$ と $CdTe$ の混晶である $HgCdTe$ が主として用いられてきた。これは、 $HgCdTe$ の光電変換効率が高いこと、また $HgTe-CdTe$ 系が全率固溶であるため、 $HgTe$ と $CdTe$ の組成比を変えることによって広い範囲で検出する赤外線波長を設定できる利点があることなどの理由による。

【0003】しかしながら、 $HgCdTe$ には、大面積高均一のウェハが得られにくい、機械的強度が低い、主に $Hg$ 原子の拡散及び抜け出しによる熱的不安定さなどの問題がある。そのため、ウェハの強度や熱的安定さが $HgCdTe$ に比べて高いIII-V族化合物半導体のタイプII超格子を用いた赤外センサが提案又は試作されている。

【0004】たとえば、Applied Physics Letters (アプライド・フィジックス・レターズ) Vol. 52, 1581 (1988) に開示された $InSb/InAsSb$ 系歪超格子や、特開昭62-85476号公報に開示された $InAs/GaSb$ 系超格子などがある。前者は、格子歪によってタイプIIにした $InSb/InAsSb$ 系歪超格子のp/i/n構造を作り、超格子成長軸方向にバイアス電圧をかけてフォトダイオードとして動作させるものである。格子歪により、 $InSb-InAsSb$ 間の空間間接遷移エネルギーギャップは、 $InAsSb$ のバンドギャップより小さくなるので、 $InAsSb$ よりも長波長の赤外線を検出することができる。後者は、 $InAs/GaSb$ 系タイプII超格子を、 $InAs$ の電子井戸に局在した電子と $GaSb$ の正孔井戸に局在した重い正孔からなる電気双極子との直列接続として考えたものである。超格子成長方向にパルス的に赤外光を入射すると、 $GaSb$ 正孔

井戸- $InAs$ 電子井戸間で空間間接遷移による電荷移動が起こり、超格子成長軸方向に瞬間的に起電力を生ずるから、超格子を上下から挟むように超格子成長面に平行に取り付けられた一对の電極によってこれを検出する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、 $InSb/InAsSb$ 系は、格子歪を保ったまま超格子成長するのは技術的に容易でなく、従って生産性も高くない。一方、 $InAs/GaSb$ 系はMBE成長によって比較的容易に超格子構造を得ることができるが、先に述べた赤外線検出器は、パルス赤外光を検出するためのものであって、連続して赤外光を検出するイメージセンサとして用いることはできない。超格子成長面に平行に取り付けられた一对の電極から $InAs/GaSb$ 系超格子成長軸に沿ってバイアス電流を印加し、光伝導型赤外線検出器として動作させることが考えられるが、この場合、次のような不都合が起こる。

【0006】まず、 $GaSb$ の価電子帯頂上が $InAs$ の伝導帯下端よりも上にあるので、超格子周期が大きくなると、次第に半金属状態に近づき暗電流の増加を招く。これを防ぐには、 $InAs$ 、 $GaSb$ 各層の厚さを薄くして伝導帯サブバンド準位を上げ、価電子帯サブバンド準位を下げてやればよい。しかし、伝導帯及び価電子帯サブバンド準位を変化させると、検出可能な赤外線の波長も変化するから、超格子各層の厚さの制御だけで、暗電流と検出赤外線波長を同時に制御するのは難しい。 $InAs/GaSb$ の厚さが薄い場合(特開昭62-85476号公報の例では $InAs/GaSb=3nm/5nm$ )には、特に困難であり、再現性よく量産するには無理がある。

【0007】また、超格子成長面に平行に電極を取り付ける形式では、超格子成長軸に沿ってバイアス電流を流すことになるが、 $InAs/GaSb$ 間の伝導帯バンドオフセットが約0.9eVあり、事実上電流を流すのは難しい。さらに、 $InAs$ 伝導帯の高い移動度を利用できず、応答速度が速くならないという不都合が生ずる。加えて、受光面である超格子成長面に読み出し電極を取り付けるため、受光面積が減少し、感度が低下するという問題もある。

【0008】本発明の目的は、III-V族化合物半導体からなる $Al_xGa_{1-x}Sb/InAs$  ( $x>0.3$ ) 超格子を用い、 $Al_xGa_{1-x}Sb/InAs$  ( $x>0.3$ ) 超格子端面に電極を取り付け、超格子面と平行にバイアス電流を流すことによって、超格子構造を変化させなくとも、 $Al$ 組成を変化させて検出赤外線波長を制御することができ、かつ $InAs$ 伝導帯の高い移動度により高速応答が可能で、かつ受光面積が大きく感度の高い赤外線検出器を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、本発明の赤外線検出器は、メサ構造と、一對の電極とを有する赤外線検出器であって、メサ構造は、絶縁性基板にエピタキシャル成長させた $Al_xGa_{1-x}Sb/InAs$  ( $x > 0.3$ ) 超格子のメサ構造であり、一對の電極は、前記メサ構造の側面に取付けられ、メサ構造の超格子面方向にバイアス電流を印加するものである。

【0010】また、タイプII超格子である $InAs/Al_xGa_{1-x}Sb$ 超格子の $Al_xGa_{1-x}Sb$ 価電子帯サブバンドから $InAs$ 伝導帯サブバンドへの空間間接遷移により赤外線の検出を行うものである。

【0011】

【作用】このような構造にすることによって、第一に、 $AlSb/InAs$ 系超格子が $AlSb$ 価電子帯上端から $InAs$ 伝導帯下端への $230meV$ の空間間接遷移エネルギーギャップをもち、 $GaSb/InAs$ 系超格子が $GaSb$ 価電子帯上端から $InAs$ 伝導帯下端への $-150meV$ の空間間接遷移エネルギーギャップをもつことから、 $Al$ 組成を変化させることによって、超格子周期が十分長い場合、 $0$ から $230meV$ の範囲の空間間接遷移エネルギーギャップをもつ超格子を作製することができる（ただし、超格子周期が短い場合は空間間接遷移エネルギーギャップの上限は $230meV$ より大きくなる）。

【0012】したがって、 $GaSb/InAs$ 系超格子が $GaSb$ 価電子帯上端から $InAs$ 伝導帯下端への負の空間間接遷移エネルギーギャップをもつことから、超格子周期を小さな値の範囲で制御しなければならないという制限が緩和される。

【0013】図1に超格子構造を $Al_xGa_{1-x}Sb/InAs = 5nm/10nm$ とした場合の、伝導帯、軽い正孔帯及び重い正孔帯各サブバンドの基底準位間の差を組成 $x$ に対して計算した結果を示す。図1において、 $hh_1 - e_1$ が重い正孔-伝導帯間の空間間接遷移エネルギーギャップを、 $lh_1 - e_1$ が軽い正孔-伝導帯間の空間間接遷移エネルギーギャップを示している。図1からわかるように、超格子周期、より正確には $Al_xGa_{1-x}Sb, InAs$ 各層の厚さを変化させることなく、 $Al$ 組成を変化させることによって、検出赤外線波長を制御することができる。 $Al$ 組成が小さく $Al_xGa_{1-x}Sb/InAs$ 超格子系が半金属状態に近づくと、赤外線検出器として用いた場合の暗電流が増加するので、暗電流の増加を防ぐために、 $Al_xGa_{1-x}Sb$ の重い正孔帯サブバンド基底準位から $InAs$ 伝導帯サブバンド基底準位へのエネルギーギャップの下限を $100meV$ とすると、許容される $Al$ 組成 $x$ の範囲は $x > 0.3$ となる。

【0014】第二に、本発明の構造の赤外線検出器は超格子面と平行にバイアス電流を印加できるように取り付けられた一對の電極から電圧変化を読み出す形式であるため、パルス状の赤外光だけでなく連続赤外光を検出す

ることができ、赤外イメージセンサに適している。またこのような構造にすることによって、 $InAs$ 伝導帯の高い移動度を利用できるので、応答の高速な赤外線検出器が得られる。

【0015】第三に、バイアス電流印加及び信号読み出し電極は、エピタキシャル成長させた $Al_xGa_{1-x}Sb/InAs$ 超格子のメサ構造の側面に取り付けられているので、赤外光入射面である超格子面の遮蔽は最小限に抑えられ、高感度の赤外線検出器が得られる。

【0016】

【実施例】以下に本発明の実施例を図を用いながら説明する。図2に示すように、 $Al_{0.5}Ga_{0.5}Sb$  5nm/ $InAs$  10nm超格子3は絶縁性 $GaAs$ 基板1上に厚さ $1\mu m$ の $GaSb$ バッファ層2を介して150周期エピタキシャル成長させられる。この超格子層3は図2に示すように、メサ型に加工され、メサの側面に一對の $Au$ 電極4が取り付けられる。

【0017】赤外線を検出する際には、電極4の両端から $Al_{0.5}Ga_{0.5}Sb$  5nm/ $InAs$  10nm超格子3の層方向にバイアス電流を印加しておけば、赤外光の照射によって発生したキャリアによって電極4の両端に電圧変化が生ずるから、これを読み取る。

【0018】図2の超格子構造に対応するサブバンド準位を図3に示す。 $Al$ 組成 $x = 0.5$ では、 $InAs$ の伝導帯下端は $Al_{0.5}Ga_{0.5}Sb$ の価電子帯上端よりも $55meV$ だけ上にあり、周期の十分大きな超格子に対して $55meV$ の空間間接遷移エネルギーギャップをもつ。図2の例では、超格子周期が $15nm$ と比較的短いため、伝導帯、重い正孔帯及び軽い正孔帯は、図3に示すようにサブバンドを形成し、各サブバンドの基底準位は、伝導帯についてはもとの伝導帯下端よりも上に、正孔帯についてはもとの価電子帯上端よりも下に位置する。図3では伝導帯及び正孔帯について、それぞれ基底準位と第1励起準位に対応する許容帯を斜線で示している。 $e_1, e_2$ がそれぞれ伝導帯サブバンドの基底準位及び第1励起準位を、 $hh_1, hh_2$ がそれぞれ重い正孔帯サブバンドの基底準位及び第1励起準位を、 $lh_1, lh_2$ がそれぞれ軽い正孔帯サブバンドの基底準位及び第1励起準位を表す。 $hh_1$ と $hh_2$ は幅が狭く、斜線を描けないので、実線のみで示した。 $E_c$ 及び $E_v$ は、それぞれ伝導帯下端及び価電子帯上端を示す。図3から、重い正孔帯のサブバンド幅が非常に狭く、価電子帯波動関数との重なりが小さいのに対して、軽い正孔帯では、サブバンド幅が広く、価電子帯波動関数との重なりが大きいことがわかる。したがって、図2の赤外線検出器は、 $e_1 - lh_1 = 265meV$ のエネルギーに対応するカットオフ波長 $4.7\mu m$ の赤外線検出器として動作する。

【0019】以上の実施例では、超格子構造を $Al_{0.5}Ga_{0.5}Sb$  5nm/ $InAs$  10nmとしたが、 $Al$ 組成 $x$ は $x = 0.5$ に限るものではなく、 $x > 0.3$

3) の値を変えることによって赤外線検出器のカットオフ波長を制御することができる。また超格子周期も  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  5nm/ $\text{InAs}$  10nmに限るものではなく、 $\text{Al}$  組成  $x$  を決めた上で  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  層及び  $\text{InAs}$  層の厚さを変えて赤外線検出器のカットオフ波長を変化させることもできる。

【0020】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、超格子周期を変化させなくとも、 $\text{Al}$  組成を変化させて検出赤外線波長を制御することができ、かつ  $\text{InAs}$  伝導帯の高い移動度により高速応答が可能で、かつ受光面積が大きく感度の高い赤外線検出器が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】超格子構造を  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}/\text{InAs} = 5\text{nm}/10\text{nm}$  とした場合の、伝導帯、軽い正孔帯及び重い正孔帯サブバンドの基底準位間の差を  $\text{Al}$  組成  $x$  に対して計算した結果を示す図である。

【図2】本発明の実施例を示す図である。

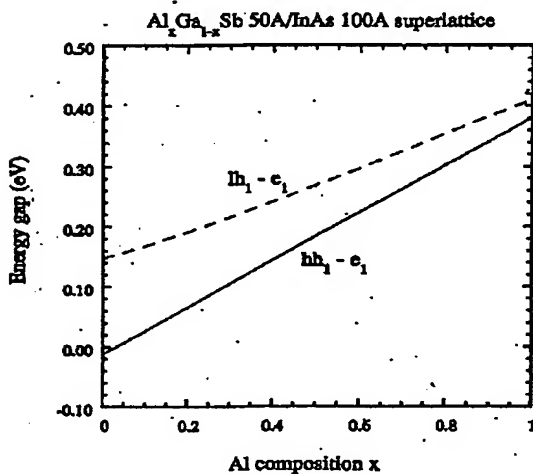
【図3】図2の  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Sb}/\text{InAs}$  超格子に\*

\* 対応するサブバンド図である。

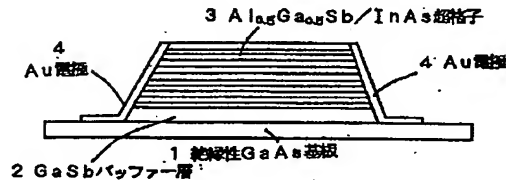
【符号の説明】

- 1 絶縁性  $\text{GaAs}$  基板
- 2  $\text{GaSb}$  バッファ層
- 3  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Sb}/\text{InAs}$  超格子
- 4  $\text{Au}$  電極
- $hh_1-e_1$  重い正孔-伝導帯間の空間間接遷移エネルギーギャップ
- $lh_1-e_1$  軽い正孔-伝導帯間の空間間接遷移エネルギーギャップ
- $E_c$  伝導帯下端
- $E_v$  価電子帯上端
- $e_1$  伝導帯サブバンド基底準位
- $e_2$  伝導帯サブバンド第一励起準位
- $lh_1$  軽い正孔帯サブバンド基底準位
- $lh_2$  軽い正孔帯サブバンド第一励起準位
- $hh_1$  重い正孔帯サブバンド基底準位
- $hh_2$  重い正孔帯サブバンド第一励起準位

【図1】



【図2】



【図3】

